

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-245570

(43)Date of publication of application : 02.09.1994

(51)Int.Cl.

H02P 5/00

G05B 13/02

G05B 13/04

(21)Application number : 05-024166

(71)Applicant : KOBE STEEL LTD

(22)Date of filing : 12.02.1993

(72)Inventor : NISHIDA YOSHIHARU

HONKE KOICHI

IMAIZUMI YOSHINORI

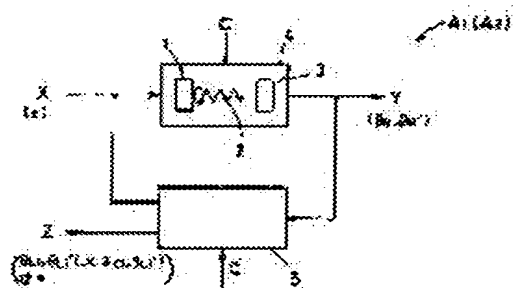
NAKAGAMI NORIYUKI

(54) CONTROLLER IN MOTOR DRIVE SYSTEM

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide a controller with accurate control in motor drive system, by improving accuracy in estimating a quantity of feed back.

CONSTITUTION: A motor driving system, which includes a motor 1 and a mechanical unit 3 driven by the motor 1 through a spring element 2, is used as a controlled system 4. In feed-back control, a feed-back quantity (Z) to an input quantity (X) is estimated through an observer 5 on the basis of the input quantity (X) inputted into the controlled system 4 and an output quantity (Y) from the control object 4. In this case, the observer 5 receives a nominal value (C') of a non-linear term, which is added to the controlled system 4. Consequently, accuracy in estimation of the feed-back quantity (Z) can be improved and accurate control can be carried out.



(57) (continued)

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-245570

(43)公開日 平成6年(1994)9月2日

(51)IntCl.⁵

H 0 2 P 5/00

G 0 5 B 13/02

13/04

識別記号

X 9063-5H

C 9131-3H

9131-3H

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数5 O L (全 9 頁)

(21)出願番号 特願平5-24166

(22)出願日 平成5年(1993)2月12日

(71)出願人 000001199

株式会社神戸製鋼所

兵庫県神戸市中央区脇浜町1丁目3番18号

(72)発明者 西田 ▲吉▼晴

兵庫県神戸市西区高塚台1丁目5番5号

株式会社神戸製鋼所神戸総合技術研究所内

(72)発明者 本家 浩一

兵庫県神戸市西区高塚台1丁目5番5号

株式会社神戸製鋼所神戸総合技術研究所内

(74)代理人 弁理士 本庄 武男

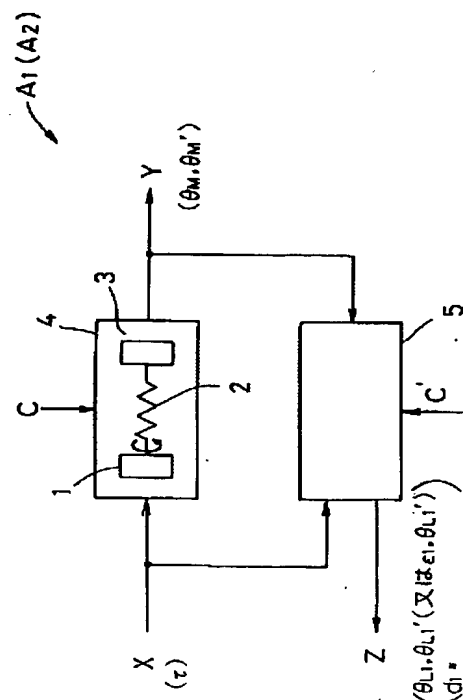
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 モータ駆動系の制御装置

(57)【要約】

【目的】 フィードバック量の推定精度を向上させてより正確な制御を行い得るモータ駆動系の制御装置。

【構成】 モータ1と、モータ1によりバネ要素2を介して駆動される機械部3とからなるモータ駆動系を制御対象4とし、制御対象4に入力される入力量Xと制御対象4から出力される出力量Yとに基づいて、入力量Xへのフィードバック量Zをオブザーバ5により推定するに際し、制御対象4に加わる非線形項の公称値C'をオブザーバ5に入力するように構成されている。上記構成によりフィードバック量の推定精度を向上させてより正確な制御を行うことができる。



(2)

【特許請求の範囲】

【請求項1】 モータと、該モータにより駆動される被駆動部とからなるモータ駆動系を制御対象とし、上記制御対象に入力される入力量と、上記制御対象から出力される出力量とに基づいて、上記入力量へのフィードバック量を推定する推定手段を備えたモータ駆動系の制御装置において、
上記制御対象に加わる既知の外乱要素を上記推定手段に入力してなることを特徴とするモータ駆動系の制御装置。

【請求項2】 上記推定手段により推定される上記フィードバック量が、上記制御対象に加わる未知の外乱要素の推定量を含んでなることを特徴とする請求項1記載のモータ駆動系の制御装置。

【請求項3】 複数のモータと、該複数のモータにより駆動される複数の被駆動部とからなるモータ駆動系を制御対象とし、上記制御対象に入力される入力量と、上記制御対象から出力される出力量とに基づいて、上記入力量へのフィードバック量を推定する推定手段を備えたモータ駆動系の制御装置において、
上記推定手段を1つとして、該1つの推定手段により、上記複数のモータと複数の被駆動部とに対応して上記制御対象に複数入出力される上記入力量と出力量とに基づいて、上記フィードバック量を複数推定してなることを特徴とするモータ駆動系の制御装置。

【請求項4】 被駆動部をバネ要素を介してモータにより駆動するモータ駆動系を制御対象とし、上記制御対象に入力される入力量と、上記制御対象から出力される出力量とに基づいて、上記入力量へのフィードバック量を推定する推定手段を備えたモータ駆動系の制御装置において、
上記推定手段を1つとして、該1つの推定手段により、上記複数のモータと複数の被駆動部とに対応して上記制御対象に複数入出力される上記入力量と出力量とに基づいて、上記フィードバック量を複数推定してなることを特徴とするモータ駆動系の制御装置。

$$J_L \theta_L'' + B_L (\theta_L', \theta_L) \theta_L' + K \theta_L - K \theta_M + C (\theta_L', \theta_L) + d = 0 \quad \dots (1a)$$

$$J_M \theta_M'' + B_M \theta_M' + K \theta_M - K \theta_L = \tau \quad \dots (1b)$$

ここに、

θ_M : モータ角度, θ_M' : モータ角速度

θ_M'' : モータ角加速度, θ_L : 関節角度

θ_L' : 関節角速度, θ_L'' : 関節角加速度

J_M : モータイナーシャ, J_L : リンクイナーシャ

B_M : モータの粘性係数, B_L : リンクの粘性係数など関節角速度 θ_L' に起因する項

, K : 関節のバネ係数

* 力量とに基づいて、上記入力量へのフィードバック量を推定する推定手段を備えたモータ駆動系の制御装置において、

上記バネ要素の非線形特性を上記推定手段による上記フィードバック量の推定に用いてなることを特徴とするモータ駆動系の制御装置。

【請求項5】 上記モータの電流ループの動特性を上記推定手段による上記フィードバック量の推定に用いてなることを特徴とする請求項1, 2, 3又は4記載のモータ駆動系の制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明はモータ駆動系の制御装置に係り、詳しくは、モータと、このモータにより駆動される被駆動部からなるモータ駆動系を制御対象とするモータ駆動系の制御装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 図4は従来のモータ駆動系の制御装置A01(A02)の一例における概略構成を示すブロック図である。図4に示す如く、従来のモータ駆動系の制御装置A01(A02)は、モータ1とモータ1により歯車等のバネ要素2を介して駆動される機械部3とからなるモータ駆動系を制御対象4とし、この制御対象4に入力される入力量Xと、制御対象4から出力される出力量Yとに基づいて入力量Xへのフィードバック量Zを推定するオブザーバ5を備えている。この装置A01(A02)の基本原理解を以下概略説明する。一般に、モータ駆動系の運動方程式は次式で表現できる。

τ : モータの発生トルクあるいはトルク指令値

d : 負荷変動などの負荷トルク, C : 各軸の干渉や重力等の非線形項

従来装置A01では、このモータ駆動系において外乱要素を全て無視しうるものとしていた(特告昭63-1839号等)。すなわち、上記(1a)、(1b)式中の非線形項C及び負荷変動などの負荷トルクdを省略した以下の状態方程式(2a)又は(2b)をベースとしていた。

【数1】

(3)

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \theta_L \\ \theta_L' \\ \theta_M \\ \theta_M' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ -J_L^{-1} & -J_L^{-1}K & -J_L^{-1}B_L & J_L^{-1}K & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & J_M^{-1}K & 0 & -J_M^{-1}K & -J_M^{-1}B_M \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \theta_L \\ \theta_L' \\ \theta_M \\ \theta_M' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ J_M^{-1} \end{bmatrix} \tau \quad \dots (2a)$$

あるいは、歪量 $\varepsilon (= \theta_L - \theta_M)$ を導入し、

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \theta_L' \\ \varepsilon \\ \theta_M' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -J_L^{-1} & -J_L^{-1}B_L & -J_L^{-1}K & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & J_M^{-1}K & -J_M^{-1}B_M \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \theta_L' \\ \varepsilon \\ \theta_M' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ J_M^{-1} \end{bmatrix} \tau \quad \dots (2b)$$

そして、この状態方程式(2a)又は(2b)に対して同一次元あるいは最小次元の状態推定オブザーバを適用することによって、機械部3に加わる負荷トルクに応じた関節角度 θ_L 、関節角速度 θ_L' を推定し、それらの推定値 θ_{L1} 、 θ_{L1}' を用いてフィードバック制御していた(従来装置A01)。しかし、実際には機械部3に外乱要素(c+d)が加わるため、機械部3の状態量の推定精度を確保し難く、これに伴いフィードバックゲインを*

*上げるのが困難であった。このため、外乱要素(c+d)を考慮する装置A02が開発された(特開平1-296301号等)。この場合には上記(1a)、(1b)式の中の外乱要素(c+d)を外乱トルクDとして状態方程式を構成している。すなわち、外乱トルクDをオフセット外乱($D' \equiv 0$)と仮定した場合、上記(2a)、(2b)式に対応する状態方程式は次式で表現できる。

【数2】

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} D \\ \theta_L \\ \theta_L' \\ \theta_M \\ \theta_M' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ -J_L^{-1} & -J_L^{-1}K & -J_L^{-1}B_L & J_L^{-1}K & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & J_M^{-1}K & 0 & -J_M^{-1}K & -J_M^{-1}B_M \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} D \\ \theta_L \\ \theta_L' \\ \theta_M \\ \theta_M' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ J_M^{-1} \end{bmatrix} \tau \quad \dots (3a)$$

あるいは

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} D \\ \theta_L' \\ \varepsilon \\ \theta_M' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ -J_L^{-1} & -J_L^{-1}B_L & -J_L^{-1}K & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & J_M^{-1}K & -J_M^{-1}B_M \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} D \\ \theta_L' \\ \varepsilon \\ \theta_M' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ J_M^{-1} \end{bmatrix} \tau \quad \dots (3b)$$

そして、この状態方程式(3a)又は(3b)式に対して同一次元あるいは最小次元の状態推定オブザーバを適用することによって、機械部3に加わる負荷トルクに応じた関節角度 θ_L 、関節角速度 θ_L' および外乱トルクDを推定し、それらの推定値 θ_{L1} 、 θ_{L1}' 、 D_1 を用いてフィードバック制御していた(従来装置A02)。尚、上記各式中のパラメータ τ は入力量Xに、パラメータ θ_M 、 θ_M' は出力量Yに、パラメータ θ_{L1} (又は ε_1)、 θ_{L1}' はフィードバック量Zにそれぞれ対応するものである。このように、従来装置A02では外乱要素(c+d)を考慮することによって、機械部3の状態量の推定精度(フィードバック量Zの推定精度)を高めると共に、フィードバックゲインを上げて一定の制御性能を確保していた。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】上記従来のモータ駆動系の制御装置A02では、外乱要素(c+d)をオブザーバで推定することによって一定の制御性能を確保することができたものの、制御対象4の非線形性やロボット、NC等で問題となる各軸の干渉等の既知情報を未

知の外乱要素と一緒に推定し、この推定値をフィードバック制御に用いている。従って、上記既知の情報を有効利用することによって、フィードバック量の推定精度を更に向上させる余地があった。本発明は、このような従来の技術における課題を解決するために、モータ駆動系の制御装置を改良し、フィードバック量の推定精度を向上させてより正確な制御を行い得るモータ駆動系の制御装置を提供することを目的とするものである。

【0004】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために本発明は、モータと、該モータにより駆動される被駆動部とからなるモータ駆動系を制御対象とし、上記制御対象に入力される入力量と、上記制御対象から出力される出力量とに基づいて、上記入力量へのフィードバック量を推定する推定手段を備えたモータ駆動系の制御装置において、上記制御対象に加わる既知の外乱要素を上記推定手段に入力してなることを特徴とするモータ駆動系の制御装置として構成されている。更には、上記推定手段により推定される上記フィードバック量が、上記制御対象に加わる未知の外乱要素の推定量を含んでなること

(4)

5

を特徴とするモータ駆動系の制御装置である。更には、複数のモータと、該複数のモータにより駆動される複数の被駆動部とからなるモータ駆動系を制御対象とし、上記制御対象に入力される入力量と、上記制御対象から出力される出力量とに基づいて、上記入力量へのフィードバック量を推定する推定手段を備えたモータ駆動系の制御装置において、上記推定手段を1つとして、該1つの推定手段により、上記複数のモータと複数の被駆動部とに対応して上記制御対象に複数入出力される上記入力量と出力量とに基づいて、上記フィードバック量を複数推定してなることを特徴とするモータ駆動系の制御装置である。更には、被駆動部をバネ要素を介してモータにより駆動するモータ駆動系を制御対象とし、上記制御対象に入力される入力量と、上記制御対象から出力される出力量とに基づいて、上記入力量へのフィードバック量を推定する推定手段を備えたモータ駆動系の制御装置において、上記バネ要素の非線形特性を上記推定手段による上記フィードバック量の推定に用いてなることを特徴とするモータ駆動系の制御装置である。更には、上記モータの電流ループの動特性を上記推定手段による上記フィードバック量の推定に用いてなることを特徴とするモータ駆動系の制御装置である。

【0005】

【作用】本発明によれば、モータと、該モータにより駆動される被駆動部とからなるモータ駆動系を制御対象とし、上記制御対象に入力される入力量と、上記制御対象から出力される出力量とに基づいて、推定手段により上記入力量へのフィードバック量を推定するに際し、上記制御対象に加わる既知の外乱要素が上記推定手段に入力される。このように、従来、外乱要素として推定手段により推定していた制御対象の非線形性やロボット、NC等で問題となる各軸の干渉等の既知情報を有効利用することにより、上記フィードバック量の推定精度を向上させることができる。この推定精度の向上に伴い、モータ駆動系の状態フィードバックゲインを上げることができ、より正確にモータ駆動系を制御することができる。更に、上記推定手段により推定される上記フィードバック量に、上記制御対象に加わる未知の外乱要素の推定量が含まれる。このように、上記既知情報以外の外乱要素を推定手段により推定することにより、その推定精度をより向上させることができる。更に、複数のモータと、該複数のモータにより駆動される複数の被駆動部とからなるモータ駆動系が制御対象とされ、上記制御対象に入力される入力量と、上記制御対象から出力される出力量とに基づいて、推定手段により上記入力量へのフィードバック量を推定するに際し、上記推定手段を1つとして、該1つの推定手段により、上記複数のモータと複数の被駆動部に対応して上記制御対象に複数入出力される上記入力量と出力量とに基づいて、上記フィードバック量が複数推定される。このように、モータ駆動系の例え

6

ばロボット、NC等の各軸毎に推定手段を適用するのではなく、全軸を1つのシステムとして扱い、全軸に対して1つの推定手段でカバーすることによって、他の軸の機械共振による振動も含めて推定できる。従って、複数のモータと複数の被駆動部とからなるモータ駆動系についても推定精度の向上を図ることができる。更に、被駆動部をバネ要素を介してモータにより駆動するモータ駆動系を制御対象とし、上記制御対象に入力される入力量と、上記制御対象から出力される出力量とに基づいて、推定手段により上記入力量へのフィードバック量を推定するに際し、上記バネ要素の非線形特性が上記推定手段による上記フィードバック量の推定に用いられる。このように、バネ要素のヒステリシス、バックラッシュ、不感帯等の非線形特性を推定手段に取り込むことによって、上記フィードバック量の推定精度を向上させることができる。更に、上記モータの電流ループの動特性が上記推定手段による上記フィードバック量の推定に用いられる。このように、モータの電流ループの動特性を推定手段に取り込むことによっても、上記フィードバック量の推定精度を向上させることができる。

【0006】

【実施例】以下、添付図面を参照して本発明を具体化した実施例につき説明し、本発明の理解に供する。尚以下の実施例は、本発明を具体化した一例であって、本発明の技術的範囲を限定する性格のものではない。ここに、図1は本発明の一実施例に係るモータ駆動系の制御装置A1(A2)の概略構成を示すブロック図、図2は本発明の他の実施例に係るモータ駆動系の制御装置A1'(A2')の概略構成を示すブロック図、図3はバネ要素の非線形特性を示すグラフ(a)、(b)である。尚、前記図4に示した従来のモータ駆動系の制御装置A01(A02)の一例における概略構成を示すブロック図と共通する要素には共通の符号を使用する。図1に示す如く本実施例に係るモータ駆動系の制御装置A1(A2)は、モータ1と、モータ1により歯車等のバネ要素2を介して駆動される機械部3(被駆動部に相当)とからなるモータ駆動系を制御対象4とし、この制御対象4に入力される入力量Xと、制御対象4から出力される出力量Yとに基づいて、入力量Xへのフィードバック量Zを推定するオブザーバ5(推定手段に相当)を備えている点で従来例と同様である。しかし、本実施例では制御対象4に加わる非線形項の公称値C'(既知の外乱要素に相当)を図示しない計算機により算出し、これをオブザーバ5に入力する点で従来例と異なる。以下、本実施例では主として従来例と異なる部分について説明し、従来例と同様の部分は既述の通りであるのでその詳細説明は省略する。まず、本実施例に係る装置A1、A2の基本原理について説明する。本実施例に係る装置A1では、前述の運動方程式(1)で表されるシステムにおいて、機械部3の非線形性や干渉などの負荷トルクをより正確に推定

(5)

するために、負荷トルクの非線形項の公称値 C' とモータ1の発生トルク（あるいはモータへの指令トルク） τ を入力するシステムを対象とし、状態推オブザーバを適用する。このシステムの状態方程式は、従来例で示し*

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \theta_L' \\ \theta_M' \\ \theta_M'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ -J_L^{-1} & -J_L^{-1}K & -J_L^{-1}B_L & J_L^{-1}K & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & J_M^{-1}K & 0 & -J_M^{-1}K & -J_M^{-1}B_M \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \theta_L' \\ \theta_M' \\ \theta_M'' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & -J_L^{-1} \\ 0 & 0 \\ J_M^{-1} & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \tau \\ C' \end{bmatrix} \quad \dots (4a)$$

あるいは歪量 ε ($-\theta_L - \theta_M$) を導入し、

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \theta_L' \\ \varepsilon \\ \theta_M'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -J_L^{-1} & -J_L^{-1}B_L & -J_L^{-1}K & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & J_M^{-1}K & -J_M^{-1}B_M \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \theta_L' \\ \varepsilon \\ \theta_M'' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -J_L^{-1} \\ 0 & 0 \\ J_M^{-1} & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \tau \\ C' \end{bmatrix} \quad \dots (4b)$$

ここに、

θ_M : モータ角度

角速度

θ_M'' : モータ角加速度

θ_L' : 関節角速度

加速度

J_M : モータイナーシャ

イナーシャ

B_M : モータの粘性係数

θ_M' : モータ

θ_L : 関節角度

θ_L'' : 関節角

J_L : リンクイ

B_L : リンクの※

※粘性係数など関節角速度 θ_L' に起因する項

K : 関節のバネ係数

τ : モータの発生トルクあるいはトルク指令値

C' : 各軸の干渉や重力等の非線形項の公称値

【0007】この状態方程式(4a)又は(4b)に対して同次元あるいは最小次元などの次元を落とした状態推定オブザーバを適用する。同次元オブザーバの構成は状態方程式から一意に決定されるため、ここでは最小次元オブザーバの一例を以下に示す。

$$\theta_{L1} = \int \{ \Omega_e (\theta_M - \theta_{L1}) - \theta_{L1}' - \Omega_e K^{-1} \tau \} dt + \Omega_e K^{-1} J_M \theta_M' + \Omega_e K^{-1} B_M \theta_M \quad \dots (5a-1)$$

$$\theta_{L1}' = \int \{ \Omega_U (\theta_M - \theta_{L1}) - J_L^{-1} B_L \theta_{L1}' + (J_L^{-1} - \Omega_U K^{-1}) \tau - J_L^{-1} C' \} dt + (\Omega_U K^{-1} J_M - J_L^{-1} J_M) \theta_M' + (\Omega_U K^{-1} B_M - J_L^{-1} B_M) \theta_M \quad \dots (5a-2)$$

あるいは、

$$\varepsilon_1 = \int \{ -\Omega_e \varepsilon_1 - \theta_{L1}' - \Omega_e K^{-1} \tau \} dt + \Omega_e K^{-1} J_M \theta_M' + (\Omega_e K^{-1} B_M - 1) \theta_M \quad \dots (5b-1)$$

$$\theta_{L1}' = \int \{ -\Omega_U \varepsilon_1 - J_L^{-1} B_L \theta_{L1}' + (J_L^{-1} - \Omega_U K^{-1}) \tau - J_L^{-1} C' \} dt + (\Omega_U K^{-1} J_M - J_L^{-1} J_M) \theta_M' + (\Omega_U K^{-1} B_M - J_L^{-1} B_M) \theta_M \quad \dots (5b-2)$$

ここに、

θ_{L1} : 関節角度の推定値、

角速度の推定値、

ε_1 : 歪量の推定値、

Ω_e, Ω_U : 収束ゲイン（手入力による初期設定又は可変値）

尚、上記各式中のパラメータ τ は入力量 X に、パラメータ θ_M, θ_M' は出力量 Y に、パラメータ θ_{L1} (又は ε_1)、 θ_{L1}' はフィードバック量 Z にそれぞれ対応するものである。このように、装置A1では、従来外乱要素としてオブザーバ5により推定していた制御対象4の非線形性やロボット、NC等で問題となる各軸の干渉等の既知情報である非線形項の公称値 C' を、オブザーバ5

に入力することにより、入力量 X へのフィードバック量 Z の推定精度を向上させることができる。この推定精度の向上に伴い、モータ駆動系の状態フィードバックゲインを上げることができ、より正確にモータ駆動系を制御することができる。

【0008】更に、装置A2では、上記既知情報以外の外乱（未知の外乱要素に相当）をオブザーバ5により推定する。この場合は、未知の外乱を考慮し、 $C - C' + d$ (C のモデル化誤差や負荷変動による外乱トルク d) を外乱トルク D として状態方程式を構成する。そして、 D をオフセット外乱 ($D' \equiv 0$) と仮定した場合、前述の(3a)、(3b)式に対応する方程式は次のように記述できる。

(6)

9

10

【数4】

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} D \\ \theta_L \\ \theta_L' \\ \theta_M \\ \theta_M' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ -J_L^{-1} & -J_L^{-1}K & -J_L^{-1}B_L & J_L^{-1}K & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & J_M^{-1}K & 0 & -J_M^{-1}K & -J_M^{-1}B_M \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} D \\ \theta_L \\ \theta_L' \\ \theta_M \\ \theta_M' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & -J_L^{-1} \\ 0 & 0 \\ J_M^{-1} & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \tau \\ C' \end{bmatrix} \quad \dots (6a)$$

あるいは

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} D \\ \theta_L' \\ \varepsilon \\ \theta_M' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ -J_L^{-1} & -J_L^{-1}B_L & -J_L^{-1}K & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & J_M^{-1}K & -J_M^{-1}B_M \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} D \\ \theta_L' \\ \varepsilon \\ \theta_M' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & -J_L^{-1} \\ 0 & 0 \\ J_M^{-1} & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \tau \\ C' \end{bmatrix} \quad \dots (6b)$$

この状態方程式(6a)又は(6b)に対して外乱を考慮した同次元あるいは最小次元などの次元を落とした状態推定オブザーバを適用する。同次元オブザーバの*

*構成は状態方程式から一意に決定されるため、ここでは最小次元オブザーバの一例を以下に示す。

$$\begin{aligned} \theta_{L1} &= \int \{ \Omega_e (\theta_M - \theta_{L1}) - \theta_{L1}' - \Omega_e K^{-1} \tau \} dt \\ &\quad + \Omega_e K^{-1} J_M \theta_M' + \Omega_e K^{-1} B_M \theta_M \quad \dots (7a-1) \\ \theta_{L1}' &= \int \{ \Omega_U (\theta_M - \theta_{L1}) - J_L^{-1} B_L \theta_{L1}' + (J_L^{-1} - \Omega_U K^{-1}) \tau - J_L^{-1} (C' + d_1) \} dt \\ &\quad + (\Omega_U K^{-1} J_M - J_L^{-1} J_M) \theta_M' + (\Omega_U K^{-1} B_M - J_L^{-1} B_M) \theta_M \quad \dots (7a-2) \\ d_1 &= \omega_d \{ \int (\tau - B_L \theta_{L1}' - C' - d_1) dt - J_L \theta_{L1}' - J_M \theta_M' - B_M \theta_M \} \quad \dots (7a-3) \end{aligned}$$

あるいは、

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= \int \{ -\Omega_e \varepsilon_1 - \theta_{L1}' - \Omega_e K^{-1} \tau \} dt \\ &\quad + \Omega_e K^{-1} J_M \theta_M' + (\Omega_e K^{-1} B_M - 1) \theta_M \quad \dots (7b-1) \\ \theta_{L1}' &= \int \{ -\Omega_U \varepsilon_1 - J_L^{-1} B_L \theta_{L1}' + (J_L^{-1} - \Omega_U K^{-1}) \tau - J_L^{-1} (C' + d_1) \} dt \\ &\quad + (\Omega_U K^{-1} J_M - J_L^{-1} J_M) \theta_M' + (\Omega_U K^{-1} B_M - J_L^{-1} B_M) \theta_M \quad \dots (7b-2) \\ d_1 &= \omega_d \{ \int (\tau - B_L \theta_{L1}' - C' - d_1) dt - J_L \theta_{L1}' - J_M \theta_M' - B_M \theta_M \} \quad \dots (7b-3) \end{aligned}$$

ここに、 d_1 は外乱トルク d の推定値であり、これもフィードバック量 Z に含まれる。このように、装置A2では、既知情報以外の外乱要素をオブザーバ5により推定することにより、その推定精度をより向上させることができる。

【0009】引き続き、他の実施例に係るモータ駆動系の制御装置A1' (A2')について図2を参照して略述する。図2に示す如く、装置A1' (A2')では、複数のモータ1と、複数のモータ1によりバネ要素2を介して駆動される複数の機械部3とに対応して制御対象4に複数入出力される入力量 X と出力量 Y とに基づいて、1つのオブザーバ5により入力量 X へのフィードバック量 Z を複数推定するように構成されている。この場合は、上記(1)～(7b-3)式において一次元の変数として扱っていた各パラメータ θ_M 、 θ_L 、 J_M 、 J_L 、 B_M 、 B_L 、 K 、 τ 、 d 、 C 、などを
 θ_M : モータ角度を示すベクトル、 θ_L : 関節角度ベクトル

J_M : モータの慣性行列、 J_L : リンク部の慣性行列

B_M : モータの粘性係数行列、 B_L : リンク粘性等の関節角速度ベクトル θ_L' に起因する係数行列

K : 関節のバネ係数行列

τ : トルクベクトル、 d : 負荷変数などの負荷トルクベクトル

40 C : 各軸の干渉や重力等の非線形項を示すベクトル
 なるベクトルや行列式にそれぞれ置き換えることによって得られる多入力多出力系の状態推定オブザーバを用いるが、基本的には装置A1'は前記装置A1に、装置A2'は前記装置A2にそれぞれ対応した構成となっている。このように、装置A1' (A2')では、モータ駆動系の例えばロボット、NC等の各軸毎にオブザーバを適用するのではなく、全軸を1つのシステムとして扱い、全軸に対して1つのオブザーバ5でカバーすることによって、他の軸の機械共振による振動も含めて推定できる。従って、複数のモータ1と複数の機械部3とから

(7)

11

なるモータ駆動系についても推定精度の向上を図ることができる。更に、バネ要素の非線形特性をオブザーバ5に取り込む場合について説明する。通常歯車等のバネ要素はヒステリシス、バックラッシュ、不感帯等の非線形特性を有し、この非線形特性がフィードバック量の推定精度に影響を及ぼす場合がある。この場合は、上記

(1)～(7b-3)式中のバネ係数(又はバネ係数行列)Kを、モータ1と機械部3の角度 θ_M 、 θ_L あるいは歪量 $\varepsilon(=\theta_L-\theta_M)$ の関数 $K(\theta_L, \theta_M)$ や $K(\varepsilon)$ などで表し、バネ要素2のヒステリシスやバックラッシュや不感帯などの非線形特性を記述した状態推定オブザーバを用いる。バネ要素2の非線形特性を記述し*

$$\tau = 1 / (1 + T_I S) \times \tau_{REF}$$

ここで、 τ はモータ1の発生トルクを表し、 τ_{REF} はトルク指令値、 T_I は電流ループの時定数である。この

(8)式を前述の運動方程式(1)に加え、状態方程式※

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} D \\ \theta_L \\ \theta_L' \\ \theta_M \\ \theta_M' \\ \tau \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -J_L^{-1} & -J_L^{-1}K & -J_L^{-1}B_L & J_L^{-1}K & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & J_M^{-1}K & 0 & -J_M^{-1}K & -J_M^{-1}B_M & J_M^{-1} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -T_I^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D \\ \theta_L \\ \theta_L' \\ \theta_M \\ \theta_M' \\ \tau \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & -J_L^{-1} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ T_I^{-1} & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} D \\ \tau_{REF} \end{bmatrix} \quad \dots (9a)$$

この状態方程式(9a)に対して同次元あるいは最小次元などの次元を落とした状態推定オブザーバを用いる。このように、モータ1の電流ループの動特性をオブザーバ5に取り込むことによってフィードバック量Zの推定精度を向上させることができる(特に電流ループの動特性が遅いシステムではこの効果が顕著なものとなる)。以上のように、本実施例によればいずれもフィードバック量の推定精度を向上させて、より正確な制御を行い得るモータ駆動系の制御装置を得ることができる。尚、上記実施例装置A1(A2)では、同次元あるいは最小次元のオブザーバについて説明したが、実使用に際しては更に高次元のものを用いても何ら支障はない。尚、上記実施例装置A1'(A2')では、複数のモータ1と複数の機械部3とをバネ要素を介して1対1で連結したモータ駆動系を例示したが、実使用に際しては単数のモータに複数の機械部を連結したモータ駆動系や複数のモータに単数の機械部を連結したモータ駆動系についても同様の装置を得ることができる。尚、上記実施例装置A1(A2)、A1'(A2')では、既知の外乱要素として計算機により算出した非線形項の公称値 C' を用いたが、実使用に際しては公称値の代りに時々刻々変化する非線形項そのものを検出してこれを直接オブザーバ5に入力することも考えられる。

【0011】

【発明の効果】本発明は上記したように構成されているため、従来外乱要素として推定手段により推定していた制御対象の非線形性やロボット、NC等で問題となる各軸の干渉等の既知情報を有効利用することにより、上記

12

*た関数の一例としては、図3(a)、(b)に示す様なものが考えられる。

【0010】このように、バネ要素2の非線形特性をオブザーバ5に取り込むことによってフィードバック量Zの推定精度を向上させることができる。更に、モータ1の電流ループの動特性をオブザーバ5に取り込む場合について説明する。電流ループの動特性を正確に記述するためには、ACモータなどでは各相を静止座標系のd-q軸に座標変換した後に動特性を記述すればよいが、ここでは簡単化のため電流ループの動特性を一次遅れ系あるいは二次遅れ系で記述する。一次遅れ系での記述例を以下に示す。

…(8)

※(6a)式と対応する状態方程式を導けば、以下の通りとなる。

【数5】

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} D \\ \theta_L \\ \theta_L' \\ \theta_M \\ \theta_M' \\ \tau \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & -T_I^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D \\ \theta_L \\ \theta_L' \\ \theta_M \\ \theta_M' \\ \tau \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & -J_L^{-1} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ T_I^{-1} & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} D \\ \tau_{REF} \end{bmatrix} \quad \dots (9a)$$

フィードバック量の推定精度を向上させることができる。この推定精度の向上に伴い、モータ駆動系の状態フィードバックゲインを上げることができ、より正確にモータ駆動系を制御することができる。更に、上記既知情報以外の外乱要素を上記推定手段により推定することにより、その推定精度をより向上させることができる。また、複数のモータと複数の被駆動部とからなるモータ駆動系の、例えばロボット、NC等の各軸毎に推定手段を適用するのではなく、全軸を1つのシステムとして扱い、全軸に対して1つの推定手段でカバーすることによって、他の軸の機械共振による振動も外乱として推定できる。従って、複数のモータと複数の被駆動部とからなるモータ駆動系についても推定精度の向上を図ることができる。更に、バネ要素のヒステリシス、バックラッシュ、不感帯等の非線形特性を推定手段によるフィードバック量の推定に用いることによって、上記フィードバック量の推定精度を向上させることができる。更にモータの電流ループの動特性を推定手段によるフィードバック量の推定に用いることによって、上記フィードバック量の推定精度を向上させることができる。その結果、フィードバック量の推定精度を向上させて、より正確な制御を行い得るモータ駆動系の制御装置を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の一実施例に係るモータ駆動系の制御装置A1(A2)の概略構成を示すブロック図。

【図2】 本発明の他の実施例に係るモータ駆動系の制御装置A1'(A2')の概略構成を示すブロック図。

(8)

13

【図3】 バネ要素の非線形特性を示すグラフ (a), (b)。

【図4】 従来のモータ駆動系の制御装置A01 (A02) の一例における概略構成を示すブロック図。

【符号の説明】

A1, A2, A1', A2' …モータ駆動系の制御装置

1…モータ

2…バネ要素

14

3…機械部 (被駆動部に相当)

4…制御対象

5…オブザーバ (推定手段に相当)

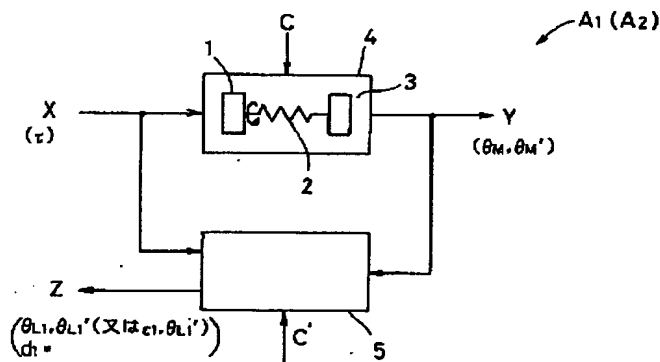
C' …非線形項の公称値

X…入力量

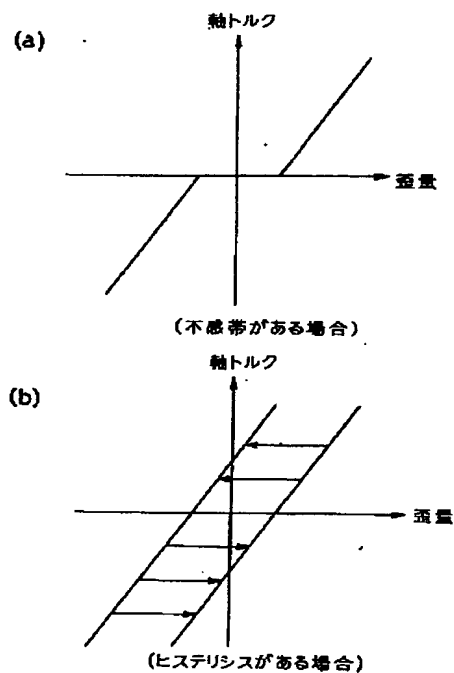
Y…出力量

Z…フィードバック量

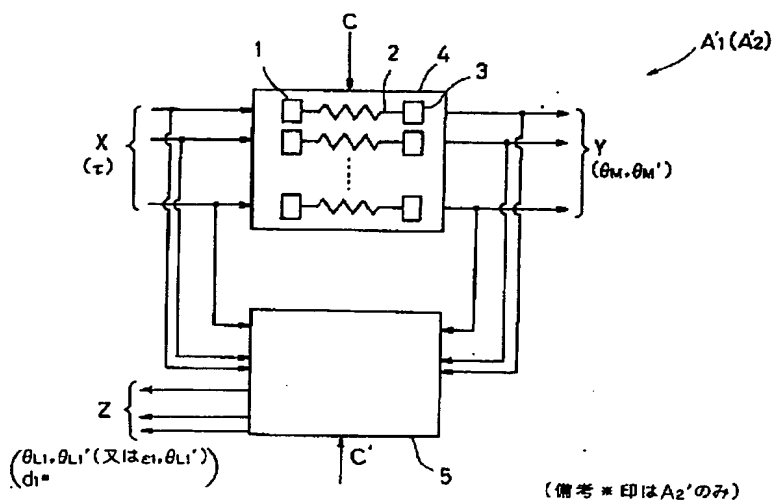
【図1】



【図3】

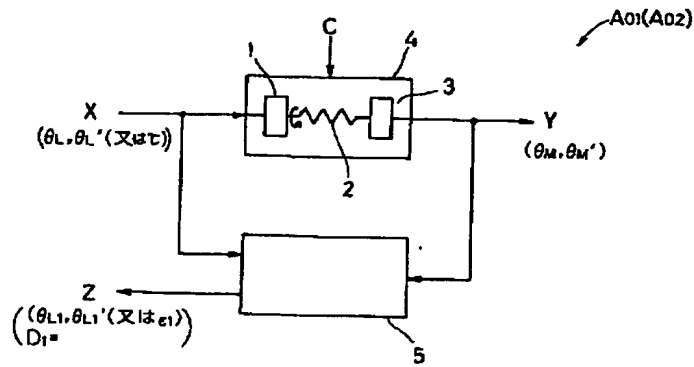


【図2】



(9)

【図4】



(備考: ※ 印はA02のみ)

フロントページの続き

(72)発明者 今泉 吉規
愛知県豊橋市三弥町字中原1-2 株式会
社神戸製鋼所豊橋FA・ロボットセンター
内

(72)発明者 中上 敬之
愛知県豊橋市三弥町字中原1-2 株式会
社神戸製鋼所豊橋FA・ロボットセンター
内